

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS



PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería Industrial

Sistema de generación de microburbujas por electrólisis y sincronización de equipos de ensayos y medida asociados.

AUTOR: Juan Antonio Mena Moreno

TUTOR: Ana Medina Palomo

Leganés, 30 de julio de 2015

Agradecimientos

A mi familia, compañeros de clase y de laboratorio, ellos ya saben quienes son...

ÍNDICE

Agradecimientos.....	2
Resumen	5
1 Introducción.....	6
1.1 Situación Actual.....	7
1.2 Conclusiones	8
2 Descripción del ensayo.....	9
2.1 Objetivo	9
2.2 Descripción del circuito	9
2.3 Ensayos a realizar	11
2.4 Condiciones de ensayo.....	12
3 SELECCIÓN DE EQUIPOS	13
3.1 Variables del sistema	13
3.1.1 Variables a medir:	13
3.1.2 Formato de los datos:.....	14
3.1.3 Orden de magnitud de esperado en las magnitudes registradas	14
3.2 Esquema del sistema	15
3.2.1 Transductores	15
3.2.2 Tarjeta de adquisición de datos	15
3.2.3 Cámara de alta velocidad.....	15
3.2.4 Piscina o cubeta de ensayo	16
3.2.5 Equipo generador de burbujas	17
3.2.6 Fuente de tensión	19
3.2.7 Osciloscopio	20
3.2.8 Equipo de sincronización y control	20
3.2.9 Optoaclopador	23
3.2.10 Tarjeta de adquisición.....	25
3.2.11 Controlador.....	26
4 Herramienta Software.....	27
5 Generación de burbujas	28
5.1 Objeto.....	28
5.2 Descripción del experimento	29
5.3 Electrodos	33

6	Conclusiones y trabajos futuros.....	37
7	Bibliografía.....	38

Resumen

Este proyecto nace con el objeto de ayudar en la investigación sobre el comportamiento dinámico de las microburbujas cuando estas se ven sometidas a un campo acústico.

Para ello ha sido necesario el diseño de un sistema de bajo coste que cumpla con las siguientes cualidades:

- Precisión: que vienen dadas por el resto de equipos de medida y la naturaleza de los experimentos.
- Control: El sistema ha de poder controlarse en el sistema informático que controla todos los sistemas, generación de burbujas, generación de pulsos, toma de datos...
- Flexible: Adaptable a cambios futuros de especificaciones y/o usos, y de carácter modular
- Económico: Este sistema tiene un precio modesto debido al uso de hardware y software libre.
- Portátil: Adaptado a las limitaciones de espacio y peso para transporte, instalación.
- Fácilmente instalable: Instalación y puesta en marcha en un tiempo mínimo (no más de un día)

Como ya se ha indicado antes, el objetivo es de carácter eminentemente práctico, por lo cual se prestará especial atención a los elementos del sistema con consideración menos teórica pero de naturaleza muy relevante a la hora de la selección e implementación de un equipo real destinado a la sincronización de los diferentes equipos envueltos en los experimentos a los cuales atañe el diseño del siguiente equipo. En este proyecto se ha buscado la sencillez, versatilidad así como la economía en los componentes, dado que hay soluciones comerciales pero debido a su excesivo precio se ha optado por este dispositivo en base arduino de hardware y software libre. El estudio de los resultados obtenidos por dichos experimentos no es el objeto del presente proyecto.

1 Introducción

El interés acerca del comportamiento de las microburbujas cuando son excitadas acústicamente va en aumento en los últimos años. Son varios los fenómenos que pueden ser observados cuando las burbujas interactúan con un campo de ultrasonidos. Para estudiar estos efectos tales como frecuencia de resonancia o translación en la dirección del sonido es conveniente tener una única burbuja aislada o un pequeño grupo de ellas.

Mediante la electrólisis nos es posible producir pequeños grupos de burbujas con parámetros controlados tales como pueden ser número de burbujas y distribución de tamaños. Con esta técnica somos capaces de obtener tamaños que varían entre 20 y 200 micras de diámetro. Para obtener estos resultados nos apoyamos en el uso de pulsos de tensión de unas características predefinidas.

La característica más remarcable de esta técnica es su bajo coste y facilidad de implementación.

Las burbujas aparecen en muchos campos de la técnica y en aplicaciones industriales, en el campo de la medicina, farmacología así como en la industria química y la ciencia de materiales.

Un ejemplo de ello es en el campo de la medicina donde se usan como agentes de contraste en combinación con vibraciones ultrasónicas, también son de aplicación en novedosas técnicas terapéuticas orientadas a la eliminación de trombos así como en el tratamiento de tumores, debido sobre todo desde que pueden ser dirigidas directamente a objetivos concretos.

Estas y otras importantes aplicaciones nos muestran la importancia de conocer el comportamiento físico de las burbujas y sus efectos cuando están sometidas a ondas de mecánicas.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto es de vital importancia poder genera burbujas de diferentes tamaños, en el rango de las decenas de micras, de una forma sencilla y controlada.

1.1 Situación Actual

Existen diferentes técnicas de generación de burbujas, la técnica quizás más común para generar una única burbuja es la generación de esta inyectando gas a través de un pequeño orificio. El tamaño de la burbuja depende directamente del diámetro del inyector. Si las burbujas son producidas en un líquido en calma esta burbuja puede desprenderse por el efecto de flotabilidad, el cual será dominante cuando la burbuja alcance un tamaño crítico. No obstante, alcanzar burbujas con un diámetro en torno a 1 mm es relativamente fácil con esta técnica. Pero conseguir burbujas de tamaños menores puede resultar más complejo.

Existen además variaciones de este método tales como inyectar el gas mediante pulsos ó por otro lado tener el líquido en movimiento provocando que las burbujas se desprendan antes, aun así el tamaño resultante de las burbujas es mayor del que nosotros buscamos.

Para generar burbujas en el rango de las micras podríamos utilizar microdispositivos en el cual inyectamos una corriente de gas en un flujo laminar de líquido. Las configuraciones existentes se pueden clasificar en 3 grupos:

- Coflujo gas-líquido
- Flujo cruzado
- Flow focusing.

La última configuración genera las burbujas más pequeñas así como un mayor ratio de burbujas. La principal ventaja de estas técnicas es la capacidad de producir microburbujas de tamaño uniforme con un control exacto del tamaño de las mismas.

Recientemente se han utilizado técnicas basadas en láser de alta intensidad, cuyo principal y gran inconveniente es la complejidad y el elevado coste.

1.2 Conclusiones

En conclusión podemos aseverar que hay bastantes buenas técnicas de generación de burbujas hoy en día, las cuales pueden producir unas burbujas de forma uniforme con una distribución del tamaño controlada. No obstante estas técnicas presentan ciertos inconvenientes tales como:

- Algunas de ellas son caras y difíciles de controlar e implementar.
- Otras simplemente no son adecuadas para aplicaciones determinadas tal vez, por ejemplo, porque la frecuencia de generación es demasiado elevada.
- O por que el tamaño de burbuja es demasiado grande.
- Además que muchas de ellas, como para el estudio del movimiento de una burbuja sometida a un campo mecánico, necesitan ser generadas en un líquido en reposo.

Todos estos inconvenientes motivan el presente estudio, parte del cual es el presente proyecto, que es el estudio de generar burbujas utilizando electrólisis del agua.

La electrólisis del agua es un buen método para la generación de burbujas micrométricas de hidrógeno. Ya ha habido estudios anteriores en lo que respecta a este campo, no obstante la frecuencia de generación o tasa de aparición es demasiado elevada y no ha sido reportado que puedan ser producidas unas pocas burbujas de características controladas. Además muchos de ellos utilizaron el movimiento del agua para el desprendimiento de las burbujas.

El método que proponemos es barato, fácil y rápido de implementar, aunque el tamaño de las burbujas no sería todo lo preciso que quisiéramos en comparación con las técnicas anteriormente mencionadas, pero podemos obtener una distribución de tamaños aceptables para el propósito de nuestro estudio. [1].

2 Descripción del ensayo

2.1 Objetivo

El objetivo de este proyecto es doble. Por un lado, se quiere diseñar un circuito para generar burbujas de hidrógeno (H_2) en agua, de una forma que podamos controlar y medir las variables eléctricas, (tensión y corriente) implicadas en la electrólisis. Por otro lado, se quiere usar el circuito para sincronizar la generación de burbujas con otros equipos envueltos en los experimentos, tales como son hidrófono, equipo generador de pulsos, etc. Además se ha buscado tener un equipo de fácil uso y manejo con un coste reducido.

El objetivo de nuestro circuito por un lado es el poder generar burbujas de hidrógeno (H_2) en agua, de una forma que podamos controlar y medir las variables eléctricas, (tensión y corriente) implicadas en la electrólisis, así como sincronizar dichos parámetros con las señales de disparo “trigger” de otros equipos envueltos en los experimentos, tales como son hidrófono, equipo generador de pulsos, etc. Además por otro lado se ha buscado tener un equipo de fácil uso y manejo con un coste reducido.

2.2 Descripción del circuito

En la primera imagen podemos ver una placa de Arduino Uno, esta es una placa de con un microcontrolador en cierto modo popular dado que está construido bajo la filosofía del hardware libre.

Es mediante este micro controlador como vamos a gestionar todas las señales con las que vamos trabajar.

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

Comentar que el tiempo máquina, es decir, el menor tiempo que puede existir entre orden y orden de la placa de arduino es de unos 5 microssegundos, este tiempo lo hemos medido con el osciloscopio para saber que error temporal añade la placa de arduino. No obstante, este tiempo es mucho menor de lo que necesitamos, pero hay que tenerlo en cuenta puesto que arduino no puede dar órdenes en paralelo, todas las de ser secuenciales.

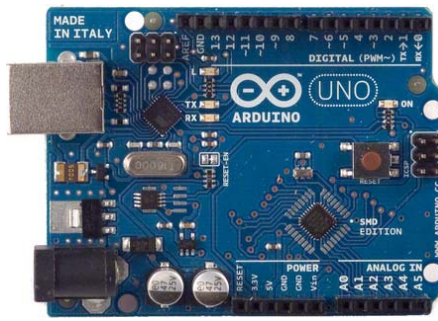


Figura 1.

Tras una presentación del equipo destinado a regir las señales, presentamos a continuación los demás circuitos:

El sistema de generación de burbujas, es simple y está basado en la electrólisis del agua. Antes de explicarlos haremos una breve mención acerca de lo que es la electrólisis.

La electrólisis es un proceso mediante el cual se logra la disociación de una sustancia llamada electrolito, en sus iones constituyentes (aniones y cationes), gracias a la administración de corriente eléctrica. Para nuestro caso el electrolito es Agua destilada por lo cual esta sustancia se acabará disociando en Hidrógeno que es el producto que nos interesa y por otro lado generando oxígeno y óxidos. La reducción, y por tanto la generación de hidrógeno tiene lugar en el cátodo, mientras que en el ánodo ocurre la reacción de oxidación, generándose oxígeno.

Los electrodos empleados son para el ánodo una varilla metálica. Y para el Cátodo una selección de electrodos, todos ellos de cobre, de diferentes geometrías y configuración con la finalidad de en cierto modo poder conseguir un cierto control sobre la generación de burbujas y sus geometrías (tamaño, cadencia de aparición...).

Esta cadencia de aparición de burbujas es importante puesto que hemos de evitar la aparición de cúmulos de burbujas puesto que modifican las características del ensayo y para nuestro caso en concreto no son útiles. Puesto que en nuestros experimentos buscamos una única burbuja ó un tren de burbujas donde las cuales estén lo suficientemente alejadas unas de otras para que no se interfieran entre ellas.

Para la generación de burbujas se utiliza el siguiente circuito controlado por el microcontrolador insertado en la placa de Arduino. A continuación mostramos un esquema.

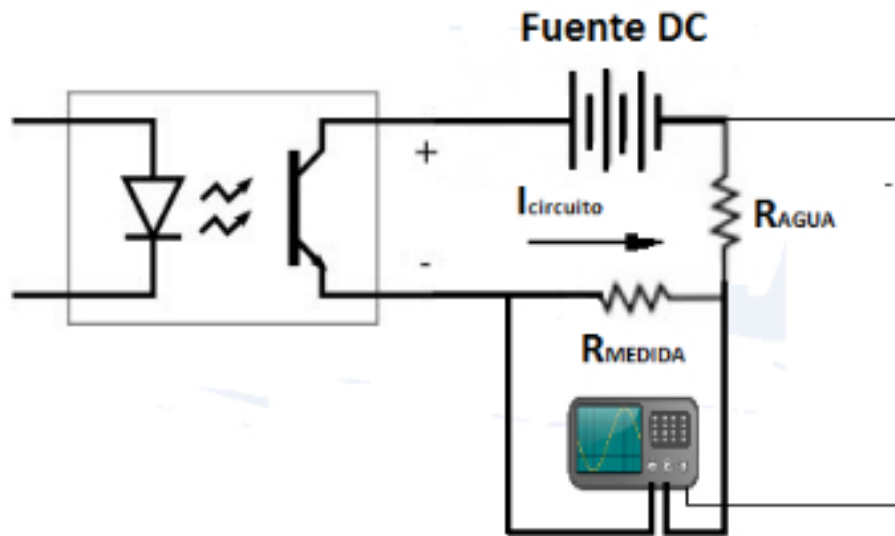


Figura 2. En este circuito hemos representado el agua como una resistencia. Mediante la resistencia de medida podemos calcular la tensión en los electrodos así como la corriente involucrada en el proceso.

2.3 Ensayos a realizar

Por un lado el ensayo a realizar se basa en la insonación de microburbujas y posterior escucha por medio de un hidrófono. Para la realización de este ensayo se han de sincronizar la generación de burbujas, la detección de las burbujas en el foco del experimento, la emisión del pulso acústico “chirp” y la activación de la grabación.

-. Generación de burbujas. Para este aspecto se utiliza una fuente de tensión en corriente continua la cual proporciona la tensión para los electrodos. Este circuito se controla mediante un optoacoplador controlado por el circuito de Arduino. Para la generación de burbujas se ha elegido una forma de onda cuadrada cuyas variables son el Ciclo de trabajo, time on, time off, número de repeticiones.

Estas variables se han ido modificando empíricamente hasta dar con unos valores que nos permiten generar burbujas de una forma óptima para nuestro experimento.

-. Emisión de Chirp y escucha, en el apartado anterior explicamos cómo se obtiene la señal de detección de burbuja. Una vez obtenida dicha señal y transmitida a la placa de arduino descontando el tiempo de transmisión de ondas en el agua y de ascensión de la burbuja se genera la señal de disparo del chirp, la cual se emite mediante una sonar que no es objeto del presente proyecto.

-. Ensayo de insonación, desde la placa de arduino se envía la señal para el disparo del Chirp (el ensayo en sí se escapa del ámbito de este proyecto), así como la señal de trigger para marcar en la grabación cuando ha sido enviado el Chirp.

2.4 Condiciones de ensayo

En cuanto a las condiciones de ensayo se han considerado importante, la limpieza del agua, para ello se utiliza agua desionizada a la cual se le añadió carbonato potásico para que permitiese la conducción de la electricidad, así como la geometría de los electrodos.

3 SELECCIÓN DE EQUIPOS

La definición y selección del equipamiento a utilizar es uno de los objetivos principales de este proyecto. La detección de necesidades actuales y futuras, así como el estudio de las diferentes posibilidades que se nos ofrecen teniendo en cuenta la relación entre aptitud técnica, coste, y adecuación a uso y situación, es uno de los puntos principales de cualquier proyecto, pero es más importante en este cuyo propósito declarado es la implementación física del sistema.

Para poder definir adecuadamente el equipo a utilizar se analizarán los siguientes puntos:

- Variables del sistema: Conocer qué variables se van a registrar (número, formato, nivel)
- Esquema del sistema de medida: Disposición de los elementos físicos que lo componen
- Tecnologías existentes: Qué tecnologías tenemos a nuestra disposición.

3.1 *Variables del sistema*

La definición de las variables físicas a medir por el sistema de adquisición es el requisito indispensable para la definición del mismo.

Para definir las variables físicas a medir es necesario conocer:

- Variables a medir
- Formato de datos
- Orden de Magnitud
- Número de variables

3.1.1 *Variables a medir:*

Para nuestro experimento y centrados en la generación de burbujas así como en las señales de los diferentes piezoeléctricos involucrados en el experimento se han considerado las siguientes variables:

- Tensión
- Corriente
- Velocidad de ascensión de las burbujas

Respecto a la variables medidas, notar que realizamos las medidas de tensión de forma directa mediante un osciloscopio y las medidas de corriente de forma indirecta, mediante una resistencia (previamente medida) de tal forma que medimos la caída de tensión en ambos extremos de la resistencia obteniendo mediante la ley de Ohm el valor de la corriente que circula por ella.

El cálculo de la velocidad de ascensión se realiza mediante técnicas gráficas aunque no son el objeto del presente proyecto.

3.1.2 Formato de los datos:

Los datos de tensión y corriente se obtendrán invariablemente de transductores de tensión/corriente, por lo cual su formato será una señal analógica, dicha señal analógica será grabada por el osciloscopio así como por la tarjeta de adquisición de datos para la señal procedente del hidrófono.

Los datos de ascensión de las burbujas se obtendrán por técnicas posteriores de análisis de imágenes.

3.1.3 Orden de magnitud esperado en las magnitudes registradas

Para las medidas de tensión y corriente hemos realizado unas medidas previas para estimar en que magnitudes de tensión y corriente nos vamos a mover, así como cuál va a ser la resistencia que ofrece el agua en nuestro experimento.

De las pruebas empíricas realizadas con un polímetro extraemos que con únicamente varios voltios y no sobrepasando varias decenas conseguimos el fenómeno de electrólisis.

Respecto a la corriente envuelta en el proceso es muy pequeña del orden de miliamperios. A partir de estas medidas concluimos que en la realización del circuito las tensiones y corrientes no van a ser peligrosas ni se va a requerir ninguna medida de seguridad especial. Dado que se considera una tensión de riesgo a partir de 50 V en corriente continua, tensión que no alcanzamos en ningún momento.

3.2 Esquema del sistema

Nuestro sistema de ensayo estará compuesto por:

- Transductores e hidrófono.
- Tarjeta de adquisición de datos
- Cámara de alta velocidad
- Piscina o cubeta de ensayo
- Equipo generador de burbujas
- Fuente de tensión
- Osciloscopio
- Equipo de sincronización y control
- Optoacoplador

3.2.1 Transductores

Los transductores implicados en este experimento son por una lado los encargados de intercambiar información/energía mecánica (vibraciones) y eléctricas.

En este caso existen 2 un transductor del tipo pulser el cual genera las vibraciones mecánicas en el agua conforme a un patrón prefijado “chirp”

Por otro lado está el hidrófono encargado de recoger la información de la interacción del chirp con la burbuja

3.2.2 Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos es una National Instruments, la cual usamos para grabar la información que recoge el hidrófono. Nos vemos obligados a tomar una solución de este tipo puesto que no hay una solución más económica para recoger todos los datos necesarios. Más adelante mostraremos las características técnicas de dicha tarjeta, la cual va a alojada en un PC de uso común y controlada mediante el propio lenguaje de programación de National Instruments LabView.

3.2.3 Cámara de alta velocidad.

Para el siguiente experimento al mismo tiempo que queremos “escuchar” grabar las vibraciones mecánicas presentes en el agua también resulta de vital importancia apoyarnos en un análisis de imágenes para el cual hacemos uso de una cámara de alta velocidad.

Esta cámara nos permite grabar las variaciones geométricas y de posición de las microburbujas, tal que, mediante un post-análisis posterior nos permite obtener información.

A continuación mostramos algunas imágenes de la cámara de Alta velocidad empleada.



Fotografía 1. Detalle de cámara de alta velocidad y de sistema de control del generador de burbujas.

3.2.4 Piscina o cubeta de ensayo

La piscina o cubeta de ensayos nos ha sido proporcionada por el departamento de mecánica de fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid.

La misión principal de dicha cubeta es contener la mezcla de agua desionizada y Cloruro potásico, así como alojar el resto de elementos que han de estar en contacto con el líquido elemento, tales como, electrodos y transductores.

Dicha piscina ha sido mecanizada en la propia universidad siendo su componente principal metacrilato.



Fotografía 2. Detalle de Piscina, cámara de alta velocidad y electrodos.

3.2.5 Equipo generador de burbujas

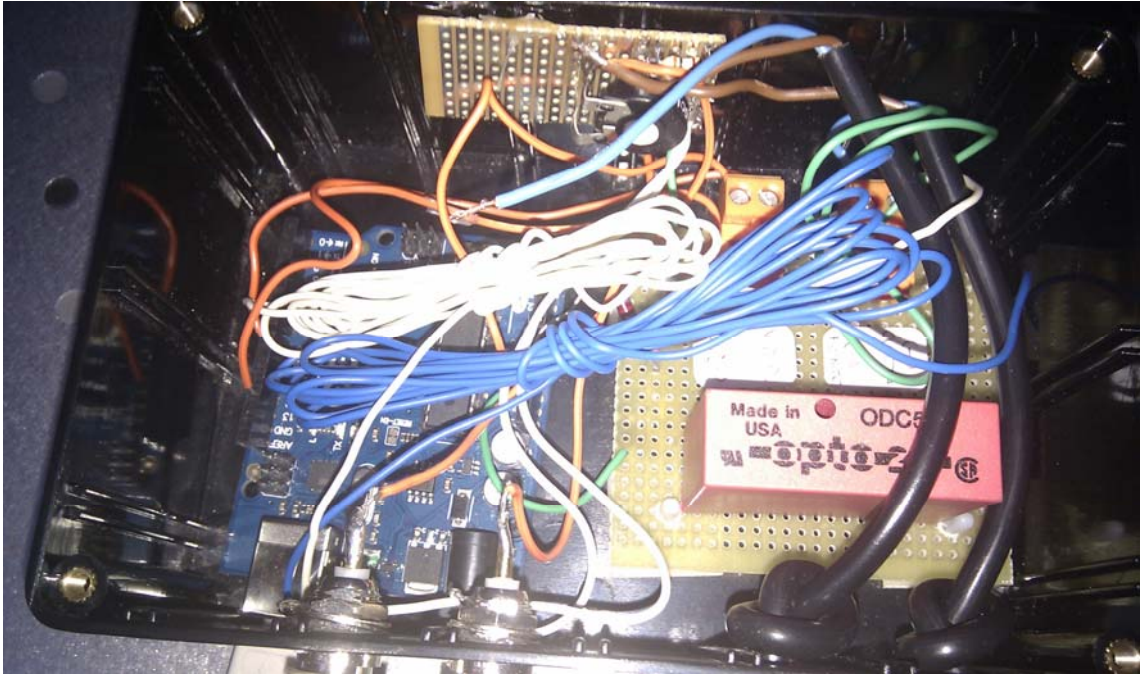
Es aquí donde se ha centrado éste proyecto, en la generación de burbujas de forma que nos sean útiles para dicho experimento. Las problemáticas acerca de la generación de burbujas mediante electrólisis serán comentadas en capítulos posteriores.

Este equipo consta de una fuente de tensión, que en nuestro caso es una fuente de tensión continua en el siguiente punto explicamos más en detalle las características que ha de tener la misma y los problemas que nos hemos encontrado.

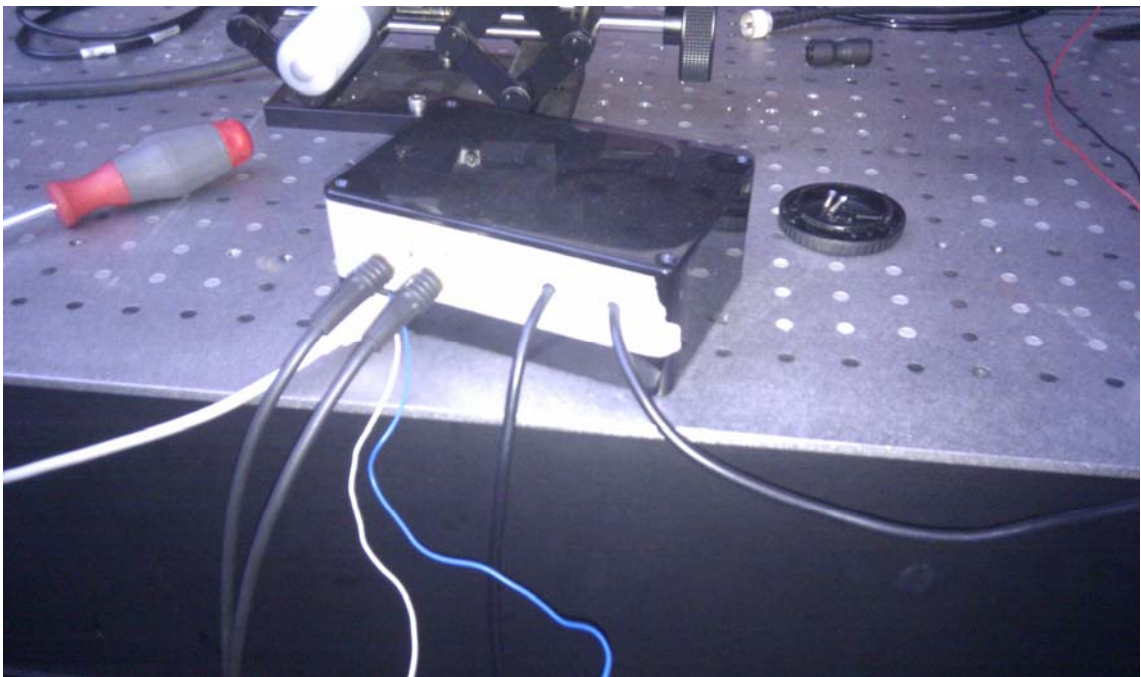
Dicha fuente de tensión alimenta a un electrodo cátodo directamente y el otro polo alimenta al ánodo (electrodo en el cual se van a generar las burbujas de hidrógeno).

El circuito presenta en serie un interruptor de alta velocidad basado en tecnología MOSFET el cual actúa como interruptor de alta velocidad y nos permite abrir y cerrar el circuito de forma controlada con nuestra placa de Arduino.

A continuación mostramos detalle del montaje montado en una envolvente para mayor manejo y versatilidad.

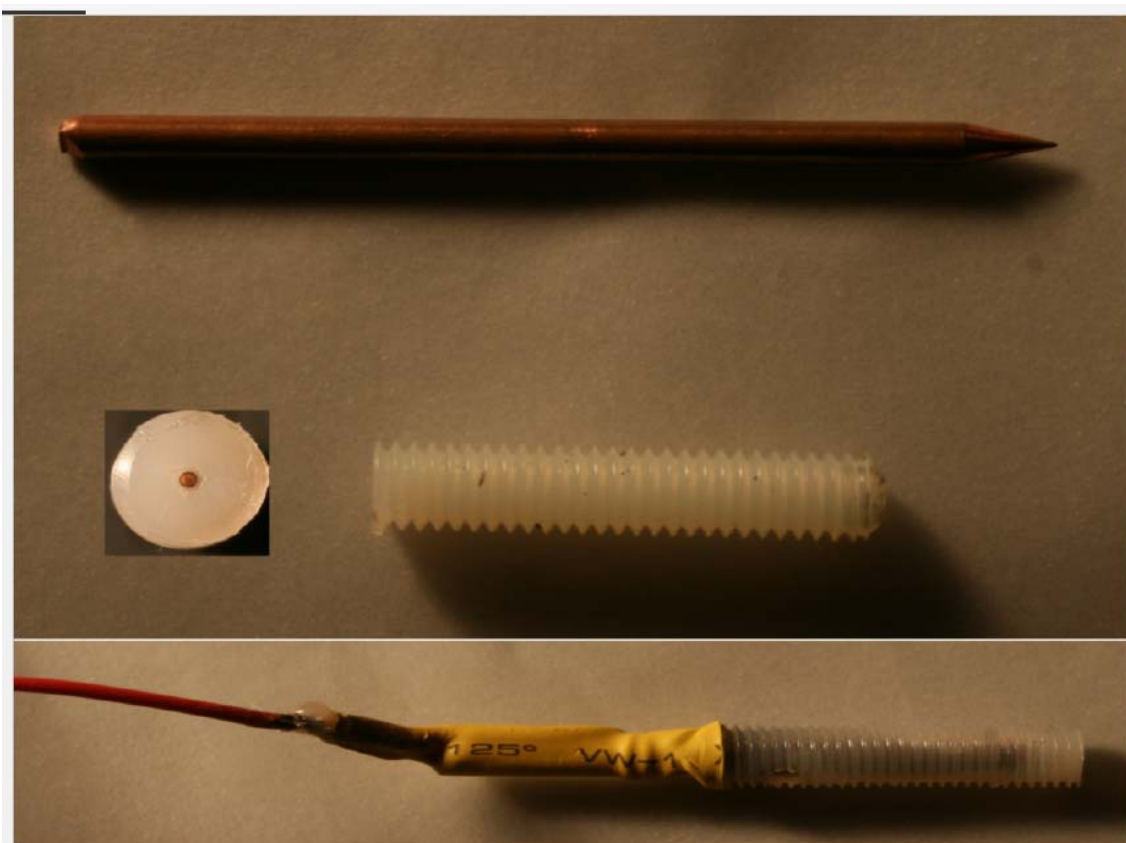


Fotografía 3. Detalle del interior del sistema generador de burbujas.



Fotografía 4. Detalle de sistema de generación de burbujas.

De otro lado mostramos a continuación detalle de los electrodos utilizados en los experimentos.



Fotografía 5. Detalle de electrodo final (abajo), detalle de electrodo desmontado (arriba) y detalle de planta superior del electrodo (centro izquierda)

3.2.6 Fuente de tensión

Para nuestro experimento ha sido de vital importancia la elección de la fuente de tensión a utilizar para ello necesitamos ciertas características.

Que la fuente de tensión nos permita obtener tensiones de entre 1V y 50V, mayores tensiones no son recomendables dado el peligro eléctrico que suponen habría que implementar sistemas de seguridad complicando el montaje, cosa que no perseguimos puesto que hemos visto que a partir de unas decenas de voltios aumentar la tensión no nos ayuda en la generación controlada de burbujas.

Otra de las características que buscamos es que la fuente tenga una alta respuesta dinámica es debido a que nuestro circuito tiene implementado un interruptor de tecnología MOSFET el cual puede abrir y cerrar el circuito en rangos de microsegundos, para ello si nuestra fuente tiene una respuesta dinámica lenta nos falsearía la señal, no obstante dado la potencia que se pone en juego para generar una burbuja de hidrógeno es del orden de los microwatios una fuente al uso nos es perfectamente válida, vuelvo a recordar que la idea principal de este proyecto es la generación de burbujas de forma controlada e independiente de una forma económica.

Teniendo en cuenta esto hemos descartado todas aquellas fuentes que debido a electrónicas antiguas o falta de filtro generaban armónicos así como ruido eléctrico.

Se hubiera podido utilizar un conjunto de pilas conectadas en serie y paralelo para dicho experimento, pero lo hemos descartado por motivos medioambientales (no generando residuos innecesarios).

3.2.7 Osciloscopio

El osciloscopio es el instrumento que nos permite medir las variables eléctricas, tales son:

- Tensión entre ánodo y cátodo
- Corriente implicada en la generación, notar que esta medida de corriente se hace de forma indirecta a través de una resistencia en serie, esto es, medimos la caída de tensión en bornes de la resistencia y a través de la ley de Ohm obtenemos la corriente. Valga de decir que en la selección de la resistencia se ha elegido una que no presente componente capacitiva o inductiva hasta muy altas frecuencias, siendo la resistencia idónea de la misma 31 ohmios, aplicando el principio de máxima transferencia de potencia.

Para nuestro experimento un osciloscopio al uso nos es más que válido puesto que nuestra velocidad de operación eléctrica como hemos comentado antes es de unos 5 microsegundos, es decir, no podemos realizar variaciones en las tensiones o corrientes en menos de 5 microsegundos, por lo que un osciloscopio normal nos es más que suficientes, tal es así, que el que hemos estado utilizando era capaz de registrar frecuencias de hasta 2 MHz, más que de sobra para nuestros experimentos.

3.2.8 Equipo de sincronización y control

Es aquí donde entra en juego nuestra placa de arduino, es dicha placa la que ha de sincronizar la generación de burbujas con el control de los trigger de grabación tanto del hidrófono como de la cámara de alta velocidad.

Para ello hemos construido un chasis de tal forma que el sistema sea fácilmente transportable y conectable.

Toda la electrónica a controlar (es decir los triggers para el pulser, hidrófono y cámara de alta velocidad) funcionan con el protocolo TTL al igual que arduino por lo que la señal de disparo es un flanco de subida de entre 4 y 7 Voltios.

Arduino es una placa alimentada mediante USB por lo cual el nivel de tensión con el que trabaja es compatible con este protocolo.

Notar que hemos los principales requisitos que hemos buscado para seleccionar esta placa son economía, versatilidad, facilidad de manejo y alta velocidad en el manejo de señales.

- Respecto a la economía se adapta perfectamente puesto que el valor de compra de todos los materiales no supera los 100€ valor casi insignificante en comparación como otras soluciones comerciales como las tarjetas de National Instruments

- Versatilidad, puesto que Arduino One es una placa donde va acomodado un microcontrolador ATMELE, nos ofrece toda la versatilidad que nos puede ofrecer un controlador teniendo en cuenta que además que el compilador asociado y gratuito tiene un lenguaje de programación muy parecido a C/C+, Matlab,...
- Facilidad de montaje y manejo, el manejo de este sistema es muy sencillo (siempre que se tenga una base de conocimientos de programación de C).
- Alta velocidad de proceso de señales, tal es así que el sistema puede trabajar a partir del microsegundo, tiempo más que suficiente para nuestro propósito.

1.1.1.1. Código Empleado

A continuación mostramos parte del código empleado en la tarjeta de arduino:

El primer código es utilizado para que cuando se le aplique una señal en la entrada 8 se genere un tren de 5 pulsos de tensión por el pin 12 tales que serían 5 pulsos de 50 milisegundos de duración.

```

Int generador_burbujas = 12;
int estado_trigger_maestro=LOW;
int trigger_maestro=8;
int debugger =13;

void setup() {
pinMode(generador_burbujas, OUTPUT);
pinMode(debugger, OUTPUT);
digitalWrite(generador_burbujas, LOW);
pinMode (trigger_maestro,INPUT);
//attachInterrupt(0,detect_trigger, CHANGE);
}

void loop() {
estado_trigger_maestro=digitalRead(trigger_maestro);
digitalWrite(generador_burbujas, LOW);
if (estado_trigger_maestro == HIGH){
  for (int j=0; j<1 ;j++){
    for (int i=0; i<5; i++){
      digitalWrite(debugger, HIGH);
      digitalWrite(generador_burbujas, HIGH);
      delay(50);

      digitalWrite(debugger, LOW);
      digitalWrite(generador_burbujas, LOW);
      delay(50);
    }
  }
  delay(500);
}

```

```

    }
    estado_trigger_maestro=LOW;
  }
}

```

Este programa es el empleado en el primer experiment donde como podemos ver como se gestionan en un ejemplo las diferentes entradas y salidas.

Observamos los trigger de la cámara, del pulser (chirp), de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), así como las salidas de pulsos al interruptor para la generación de burbujas (generador de burbujas).

```

//int trigger_camara = 11;
int trigger_chirp = 9;
int trigger_DAQ = 10;
int contador = 0;
int generador_burbujas = 13;
int trigger_maestro = 7;
int estado_trigger_maestro = 0;
int dentro = 0;
int bucle = 13;
void setup() {
  pinMode(trigger_maestro, INPUT);
  //pinMode(trigger_camara, OUTPUT);
  pinMode(trigger_chirp, OUTPUT);
  pinMode(trigger_DAQ, OUTPUT);
  pinMode(generador_burbujas, OUTPUT);
  digitalWrite(generador_burbujas, LOW);
  //digitalWrite(trigger_camara, LOW);
  digitalWrite(trigger_chirp, LOW);
  digitalWrite(trigger_DAQ, LOW);
  pinMode(bucle, OUTPUT);
  digitalWrite(bucle, LOW);
}
void loop() {
  // estado_trigger_maestro = 1;

  digitalWrite(generador_burbujas, HIGH);
  delay(50);
  digitalWrite(generador_burbujas, LOW);
  delay(50);
  estado_trigger_maestro = digitalRead(trigger_maestro);

```

```

if (estado_trigger_maestro == HIGH) {

    for (contador=0;contador<100;contador++) {
//        digitalWrite(bucle, HIGH);
//        delay(2000);
//        digitalWrite(bucle, LOW);
//
        digitalWrite(trigger_chirp, HIGH);
        delayMicroseconds(20);
        digitalWrite(trigger_DAQ, HIGH);
        digitalWrite(trigger_chirp, LOW);
        digitalWrite(trigger_DAQ, LOW);
        for(int bub=0;bub<3;bub++){
            digitalWrite(generator_burbujas, HIGH);
            delay(8);
            digitalWrite(generator_burbujas, LOW);
            delay(25);
        }
    }
    delayMicroseconds(0.1);
    estado_trigger_maestro=LOW;
}
}

```

3.2.9 Optoaclopador

Llamamos optoacoplador al circuito que actúa como interruptor en el lazo de generación de burbujas. Este “interruptor” se basa en un transistor MOSFET el cual cierra el circuito cada vez que la placa de arduino le da una señal de escasos voltios.

El esquema de elementos constitutivos y flujos de información dentro del sistema:

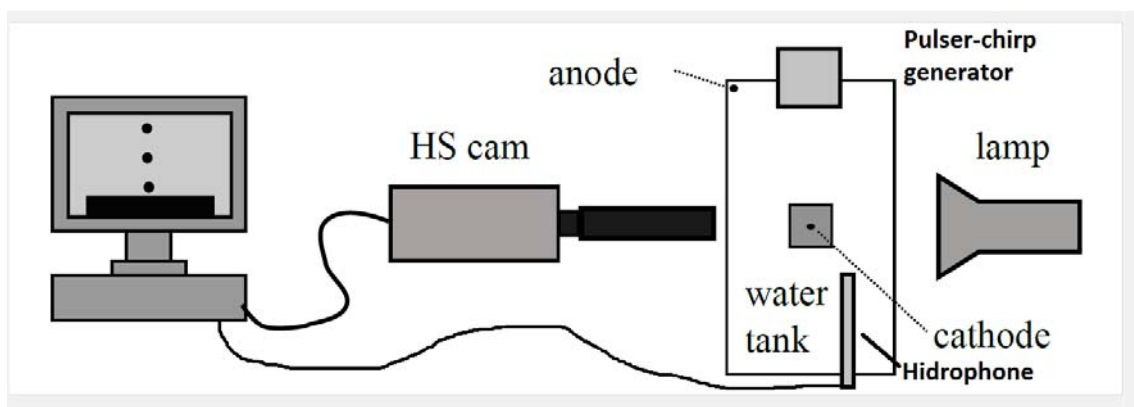


Figura 3. Esquema del experimento de insonación de las burbujas.

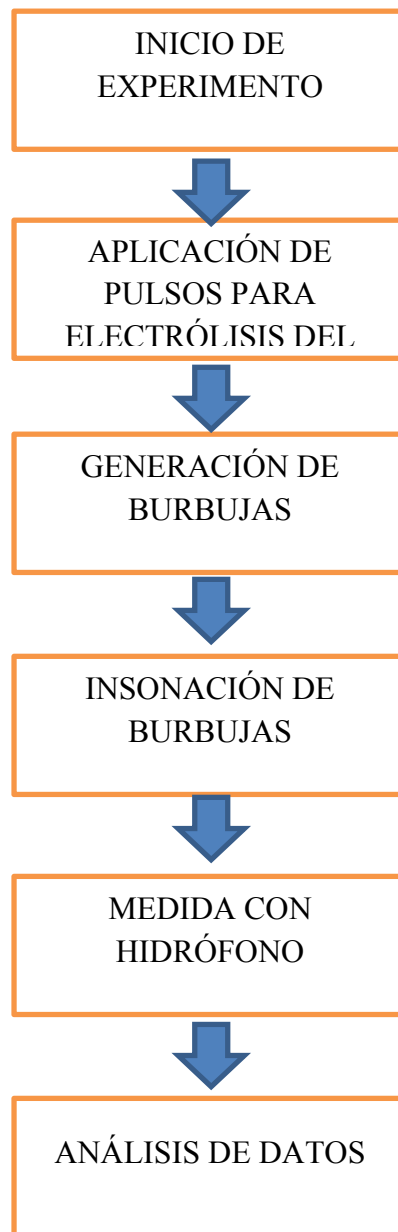


Figura 4. Esquema de medida, ensayos en laboratorio

Esta sería la evolución de nuestros experimentos, pero debido a una falta de madurez tecnológica se determinó no seguir acabo con ellos y centrarnos en la generación de microburbujas de forma controlada.

3.2.10 Tarjeta de adquisición

Dentro de las tarjetas de adquisición PXI de National Instruments se ha optado por la PXI-6115S por las siguientes razones:

- La familia NI-611X es una de las más asequibles económicamente dentro del rango de las plataformas de 'alto rendimiento' que cumple con las especificaciones deseadas, y dentro de la familia, la 6115s es la que cumple en relación calidad/precio más satisfactoriamente.
- Frecuencias de corte, precisión, y resolución muy superiores al mínimo necesario para cumplir con los requerimientos de nuestro experimento.



Figura 5. Tarjeta 6115

Especificaciones básicas de tarjeta PXI-6115S:

- Canales 4
- Resolución 12 bits (delta-sigma ADCs)
- Rango dinámico 110 dB
- Rango $\pm 10V$
- Acople AD/DC
- Muestreo simultaneo
- Sincronización multidispositivo
- Rango frecuencias hasta 500 kHz
- Sampling rate 10 MS/s
- Filtrado antialiasing configurable

3.2.11 Controlador

Habitualmente National Instruments suministra su propia gama de controladores para el manejo de sus tarjetas, en este caso y gracias a que esta tarjeta puede implementarlo. La tarjeta va directamente montada sobre un PC normal y corriente.

4 Herramienta Software

Como se ha indicado en los apartados anteriores, el objetivo fundamental de la herramienta software es la adquisición personalizable de datos de un grado de autonomía que nos permita la operación semiautónoma (sin supervisión humana constante). En el diseño se ha buscado que el usuario pueda ser capaz de una manera fácil y accesible, de definir el tipo de medidas a utilizar y los parámetros de ejecución, y llevar a cabo una supervisión del desarrollo de los mismos.

El lenguaje de programación en el que está basado el software es (como se ha reseñado anteriormente) LabVIEW, un lenguaje de programación gráfica con una gran facilidad de comunicación y total compatibilidad con las tarjetas de National Instruments.

Sin entrar en detalles sobre la programación (por extensión) la programación en LabVIEW se lleva a cabo mediante el uso de bloques funcionales gráficos conectados mediante líneas que representan los flujos de datos conectando los procesos. LabVIEW cuenta con una gran potencia de visualización de señales y medidas, de tratamiento de señales, y de adquisición de datos, lo que lo hace especialmente adecuado para el propósito de este proyecto.

Además, Labview cuenta con la ventaja de que es totalmente compatible con las tarjetas de National Instruments seleccionadas al efecto.

Una vez iniciado el proceso de adquisición de datos, el programa va listando automáticamente qué archivos perteneciente a qué categoría han sido ya adquiridos.

Los archivos registrados se guardan en el disco duro en la carpeta definida en el apartado de configuración. Su formato de guardado es siempre '*.CSV' (comma separated values). La elección del formato de guardado como csv en lugar de archivo binario es debida principalmente a la transferibilidad de los archivos csv, muy facilmente convertibles a otros formatos e importables en multitud de programas y editores, pese a que en general los archivos binarios con formato estrictamente definido son mucho más rápidos en el acceso y modificación y más ligeros.

5 Generación de burbujas

Después de realizar el montaje anteriormente explicado llegamos a la conclusión que la idea de medir el efecto de la microburbuja en el pulso acústico que enviamos “chirp”, a día de hoy con la tecnología que hemos empelado no es viable.

No obstante hemos constatado que hemos encontrado una gran complicación en la generación de burbujas aptas para el experimento, es por ello que decidimos centrarnos en esta tarea.

Para este experimento utilizaremos sólo una parte de los dispositivos anteriormente descritos. Tales son:

- Cámara de alta velocidad
- Piscina o cubeta de ensayo
- Equipo generador de burbujas
- Fuente de tensión
- Osciloscopio
- Equipo de sincronización y control
- Optoacoplador

Como podemos observar todos ellos ha sido descritos en el capítulo 3.

5.1 Objeto

El objeto del presente experimento es generar microburbujas de una forma controlada en cuanto a tamaño, número y dimensiones de las burbujas.

Para ello utilizaremos parte de los circuitos anteriormente descritos. Siendo nuestras variables para modificar las siguientes:

- Tensión en los electrodos. La cual viene dada por la fuente de alimentación y el circuito interruptor en el cual siempre hay una pequeña caída de tensión.
- Forma de onda de la tensión aplicada en los electrodos, para nuestro experimento contemplamos una forma de onda tren de impulsos cuyos parámetros son número de pulsos, time on, time off, duty cycle así como número de repeticiones de estos trenes de pulsos
- Otra variable con la que jugamos es la geometría de los electrodos implicados en el experimento. Sobre todo del cátodo que es donde se generan las burbujas de hidrógeno, las cuales son el objeto del presente experimento.

5.2 Descripción del experimento

Para la realización de dicho experimento utilizaremos los sistemas y equipos del anterior aunque prescindiremos de transductores, hidrófono y tarjeta de adquisición de datos.

Tras unas pruebas iniciales observamos que el principal problema que tenemos es que en la electrólisis aplicando muy pequeñas tensiones del orden de voltios obtenemos muchas burbujas, fenómeno no deseado puesto que queremos burbujas aisladas o trenes de burbujas bastante espaciadas.

Para intentar controlarlo aplicamos trenes de pulsos de onda cuadrada como el que mostramos a continuación.

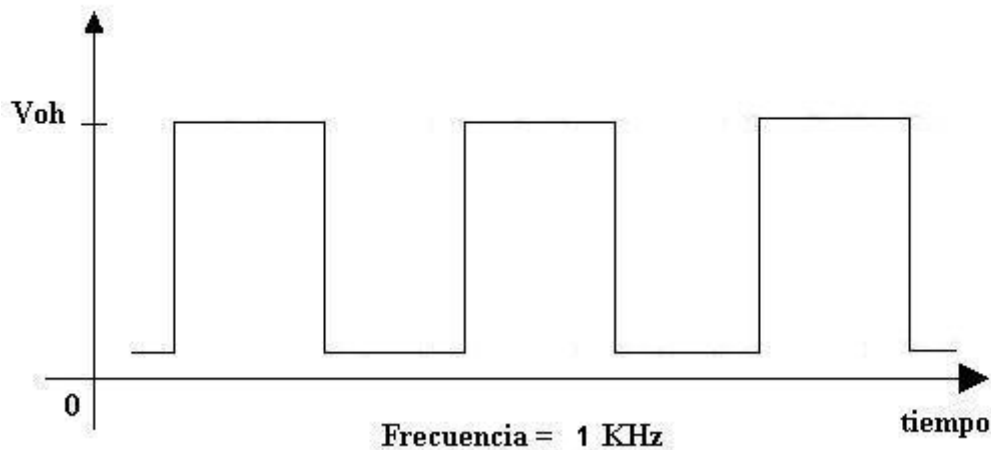


Figura 6. Representación de forma de onda de la tensión en los electrodos.

Notar que este es un ejemplo genérico y tanto frecuencia como duty cycle no tienen por qué ser los mismos.

Mediante este artificio conseguimos regular la tensión media aplicada así como el hecho de aplicar impulsos de tensión nos puede ayudar a controlar el fenómeno de la electrólisis.

Estos trenes de pulsos son generados mediante la conmutación del transistor MOSFET (Polarizado como interruptor) y controlado por la placa de arduino, la cual nos puede dar un tiempo máquina de 5 microsegundos.

Otro de los problemas que nos encontramos es la propia geometría de los electrodos, sobre todo del cátodo que es en el que se generan las burbujas de hidrógeno.

Haremos una breve mención al ánodo, en el ánodo es el electrodo donde se genera el oxígeno producto de la electrólisis así como óxidos cuando existen partículas con las cuales puede reaccionar dicho elemento.

Observamos que este electrodo no tiene apenas influencia en el proceso ya sea por cercanía al otro electrodo, material o geometría del mismo, diremos que basta con tenerlo sumergido en la solución salina para que se pueda cerrar el circuito eléctrico.

Una vez comentado esto centraremos nuestra atención en el cátodo.

Para dicho electrodo hemos probado con una serie de materiales viendo que siempre que sean materiales conductores no es una variable influyente.

Variable que si hemos tenido en cuenta es la geometría de los mismos, probando desde electrodos en punta plana, punta cónica...

Después de probar con varios de estos electrodos observamos que la generación de burbujas se produce a lo largo de toda la superficie del electrodo y no de forma concentrada en un punto, es por ello que probamos a aislar dichos electrodos con un esmalte dieléctrico, dejando únicamente la punta expuesta a la solución.

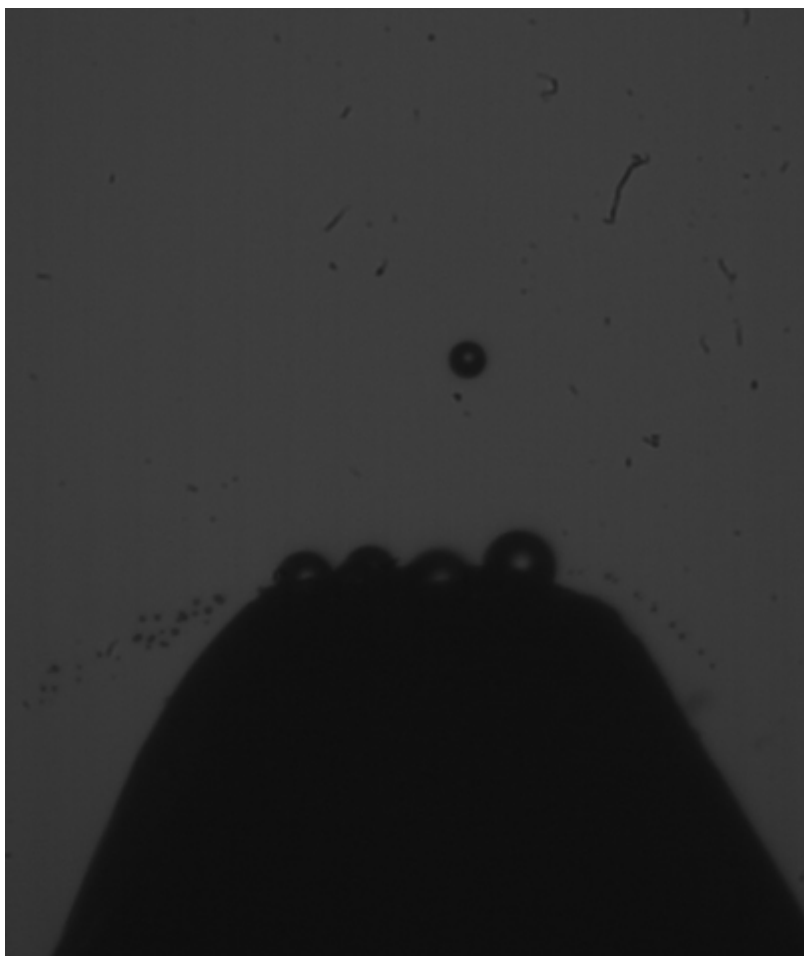


Fotografía 6. Imagen del electrodo con varias burbujas adheridas y una nube de pequeñas burbujas a la izquierda. Imagen obtenida al inicio de los ensayos.

Dicha mejor nos resulta de gran ayuda puesto que si las tensiones no son muy elevadas todas las burbujas se generan en esta punta. Como podemos observar en la imagen superior.

Teniendo estas consideraciones proponemos un diseño final de electrodo el cual es de la siguiente forma.

Electrodo terminado en punta totalmente aislado mediante un esmalte dieléctrico que no reaccione con la solución ni al efecto de la electricidad ni campos magnéticos. En dicho electrodo esmaltado procedemos a realizarle un taladro del orden de magnitud de las 100 micras de tal forma que en esta oquedad pueda alojarse una pequeña cantidad de solución, la cual una vez aplicado el tren de pulsos de tensión generarían burbujas de forma concentrada en ese punto y puesto que la cantidad de solución alojada es pequeña, este número de burbujas también sería pequeño obteniendo los siguientes resultados.



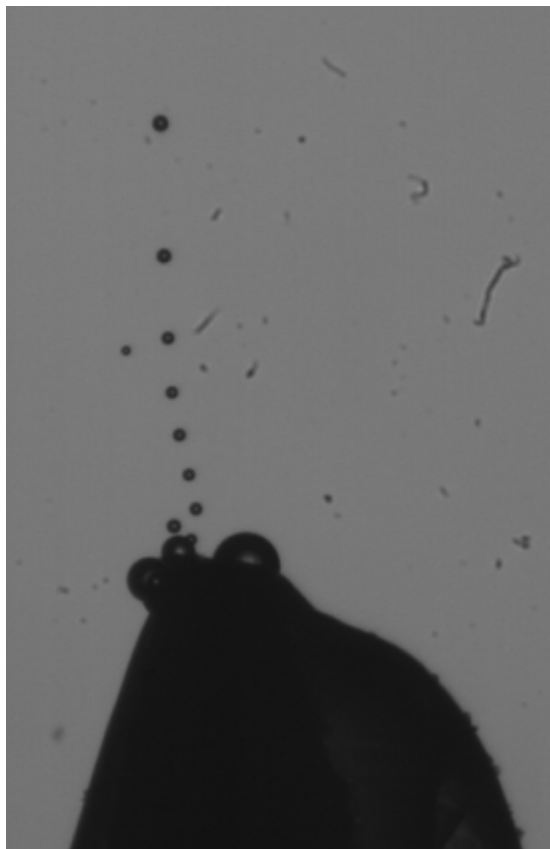
Fotografía 7. Imagen de la punta del electrodo con varias burbujas adheridas y otra burbuja ascendiendo.

En la foto que figura arriba observamos una burbuja de hidrógeno el cual es nuestro objetivo.

Una vez obtenidos estos resultados, hemos aprovechado realizando experimentos para medir la velocidad de ascensión de las burbujas, teniendo en cuenta que no son el objetivo central de este proyecto.

Para medir las velocidades de ascensión de las burbujas utilizaremos métodos de análisis de imágenes. Realizaremos grabaciones de la ascensión de la burbuja y en un postanálisis en Matlab podremos calcular la velocidad transversal y de ascensión de las burbujas.

A continuación mostramos otra fotografía de un tren de burbujas.



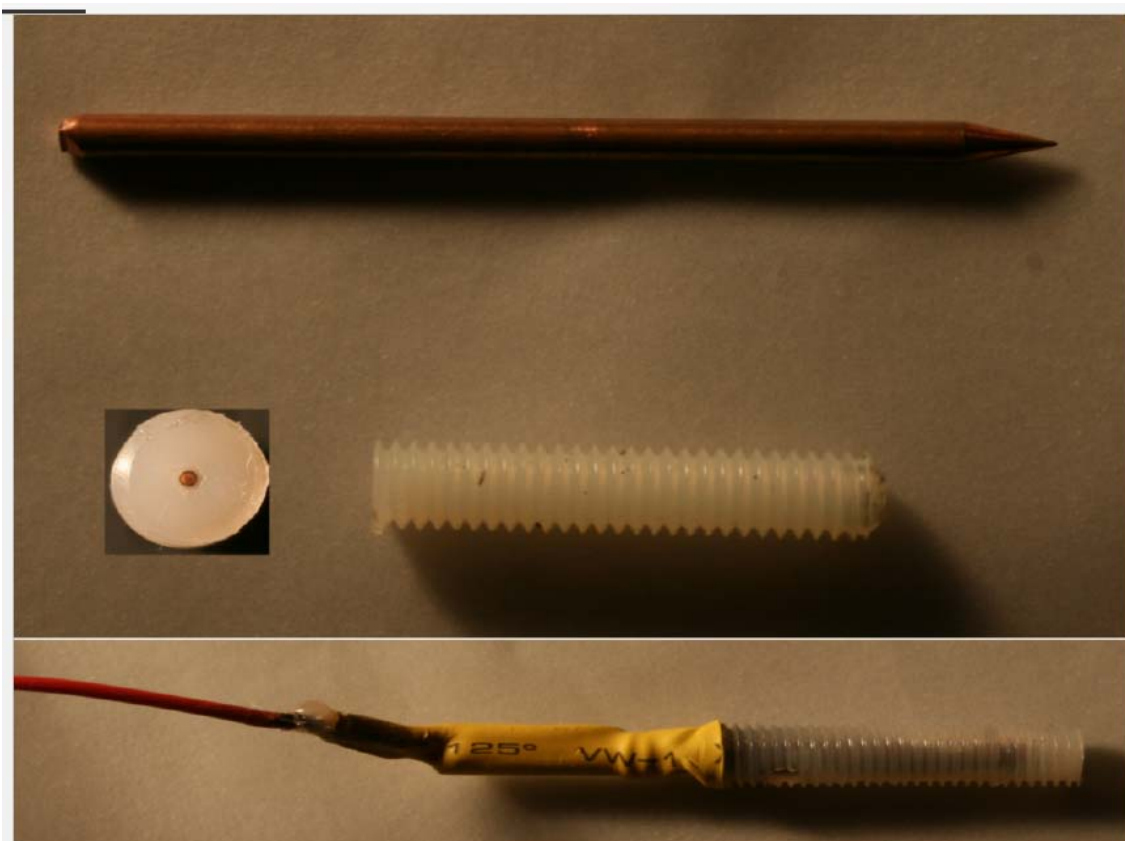
Fotografía 8. Imagen del electrodo emitiendo un tren de burbujas con una separación aceptable.

Como podemos observar aparece en “tren” de burbujas bastante espaciadas, este resultado nos es igualmente válido puesto que podemos aplicar la hipótesis de burbuja aislada al estar las burbujas lo suficientemente alejadas unas de otras.

5.3 Electrodos

Para la generación de burbujas en la forma anteriormente descrita hemos realizado pruebas con diferentes tipos de electros, centrándonos casi únicamente en el cátodo, puesto que es en este donde se generan las burbujas de hidrógeno y hemos visto que el ánodo apenas afecta al experimento.

A continuación mostramos la solución final para los electrodos.



Fotografía 9. Detalle de Electrodo de cobre.

Como observamos en la parte superior tenemos una varilla de cobre, mecanizada en uno de sus extremos de tal forma que acabe en punta y en el resto de la superficie no aparezcan aristas ni zonas puntiagudas. Esto es así porque en todo sitio donde haya una arista o zona punzante se produce un efecto concentrador de intensidad de campo eléctrico.

A este efecto se le conoce como el efecto punta.

El efecto punta es un efecto físico que se produce por la acumulación de energía en esa parte de un cuerpo.

Cuando un material posee carga eléctrica, esta se distribuye por todo el cuerpo (superficie, si se trata de conductores). La densidad de carga es la carga por unidad de volumen o

superficie en el cuerpo de manera que si la carga se distribuye en el cuerpo, su densidad será mayor en las zonas de menos volumen o menos superficie. Por esto se produce una acumulación de energía en las zonas del material acabadas en punta donde su volumen es menor y se concentra mayor cantidad de carga, de manera que si el material está expuesto a un campo eléctrico externo, tenderá a interactuar con éste por la zona de mayor densidad de carga, es decir, en la punta.

A este efecto se le conoce como efecto punta. Fue descubierto por Benjamin Franklin, quien lo ilustró en su obra de 1753, Almanaque del pobre Richard. Es de especial interés en muchas aplicaciones como el pararrayos, inventado por el propio Franklin tras sus experimentos con una cometa en días de tormenta. Para realizar dichos experimentos, Franklin lanzaba una cometa de seda, con una punta metálica en la parte más alta, unida a un cordel también de seda. Del cordel colgaba una llave, que unía el dispositivo con tierra (carga eléctrica neutra), provocando así la descarga del rayo.

Debido al "efecto punta" cuando nos encontramos en una tormenta de rayos no debemos levantar los brazos hacia arriba y no se deben despegar demasiado del cuerpo, ya que podríamos acumular carga en nuestro cuerpo, y por efecto punta podríamos atraer la descarga de un rayo. En estos casos lo más recomendable es colocarse de rodillas y pegar los brazos al cuerpo, para estar al máximo contacto con el suelo (tierra) y en caso de no perder nuestra carga con el suelo, no inducir la con nuestros brazos

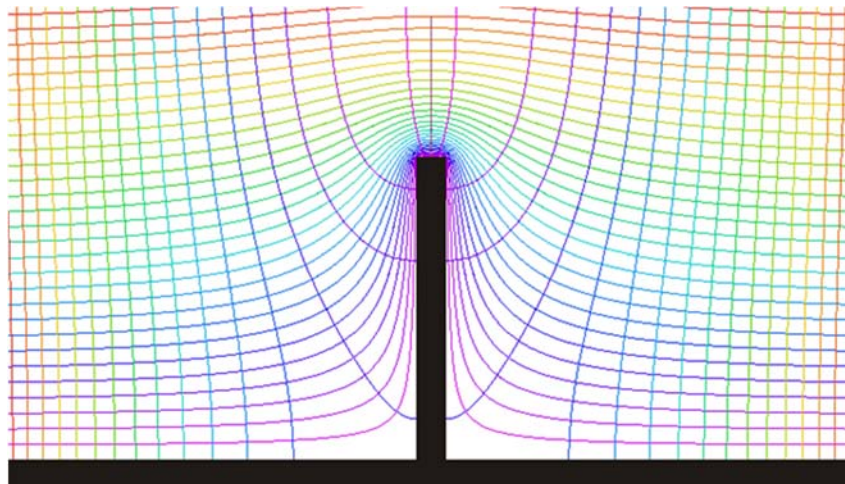


Figura 7. Representación de líneas de Intensidad de campo eléctrico así como líneas equipotenciales en un metal cargado que presenta una punta.

Una forma de entenderlo es mediante la imagen superior como podemos observar la zona en negro representa un material conductor cargado eléctricamente, las líneas que cerca de la base son cuasi horizontales representan las líneas de campo equipotencial y las líneas perpendiculares son las líneas de flujo.

Pues bien si aplicamos la ley de la conservación del flujo eléctrico.

$$\Phi = \int_{Base1} \vec{E} d\vec{S} = \int_{Base1} E dS = E S$$

$$E S = \frac{q}{\epsilon_0}; \quad \boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}}$$

El cual dice que la integral del producto escalar de la intensidad de campo eléctrico y la superficie es nula. Obtenemos que:

- El campo eléctrico en el interior es nulo.
- La carga eléctrica se distribuye sobre la superficie, concentrándose en las zonas de menor radio de curvatura (es decir, más *puntiagudas*).
- La superficie del conductor es una superficie equipotencial.
- El campo eléctrico en la superficie está dirigido hacia afuera y es perpendicular a la superficie.

De estas 4 hipótesis obtenemos que el gradiente de potencial, el cual es proporcional a la intensidad de campo eléctrico es mayor en las puntas. Es por ello que se utiliza esta geometría en los pararrayos.



Fotografía 10. Detalle de un rayo alcanzando el pararrayos sobre la torre Eiffel de París.

Nos basaremos en estas propiedades para poder generar una intensidad de campo tan elevada que permita ionizar el agua en dicho punto, generando burbujas de hidrógeno.

Dentro de los diferentes tipos de puntas hemos elegido la punta cónica puesto que es la que mayor intensidad de campo genera en su extremo como mostramos a continuación.

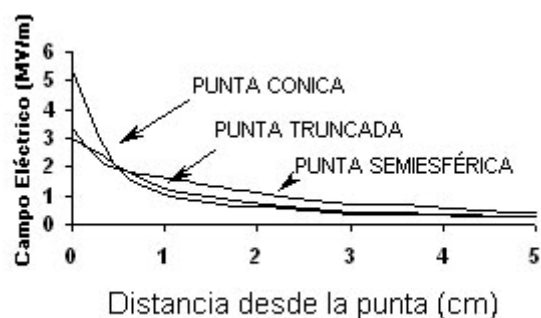


Figura 8. Gráfica de la intensidad de campo eléctrico con respecto a la distancia a distintos tipos de puntas.

No obstante aún con estas consideraciones el generar burbujas aisladas al menos durante un lapso de tiempo entre unas y otras es complicado, hemos implementado la siguiente solución la cual nos ha dado buenos resultados, que se basa en lo siguiente.

Cogiendo el electrodo anteriormente mostrado y enfundándolo en material dieléctrico de tal forma que la superficie del electrodo no entre en contacto con la solución en ningún momento. Una vez hecho esto se le mecaniza un agujero en el dieléctrico de tal forma que quede una oquedad de geometría cilíndrica que permita poner en contacto la solución con la punta del electrodo.

Esto nos permite acumular una pequeña cantidad de solución en dicha oquedad pero al ser pequeña una vez electrolizado dicha cantidad de agua esta oquedad quedará llena de hidrógeno gaseoso el cual por flotabilidad subirá y se desprenderá, de tal forma que, una vez desprendida dicha burbuja, la oquedad se llenará de solución volviendo a repetirse el proceso.

6 Conclusiones y trabajos futuros

Como conclusiones hemos observado que en la realización de experimentos muchas veces nos topamos con el grado de desarrollo de las tecnologías que utilizamos para estudiar un determinado fenómeno o comportamiento tal es como hemos planteado el primer experimento y el cual no hemos podido llevar a cabo puesto que las tecnologías en hidrofonia no nos lo permiten.

Al mismo tiempo observamos cómo es un campo nuevo por estudiar el fenómeno de generar burbujas de forma puntual mediante electrólisis, puesto que si hay escritos acerca de la generación de burbujas a gran escala pero no de forma puntual y controlada.

7 Bibliografia

[1] A. Medina-Palomo, J. Rodríguez-Rodríguez, On the production of mini clusters of microbubbles using water electrolysis. www.sciencedirect.com